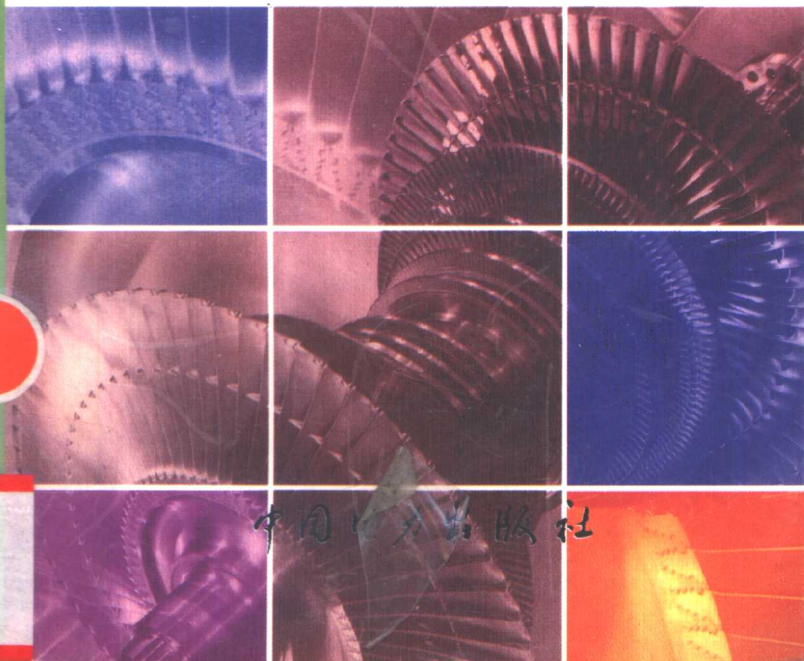


火力发电厂高级工培训教材

汽轮机本体检修

上海市电力工业局 庄育曾 编著
教育培训中心 高继鸣
刘卫



199148

TK268

Z931

火力发电厂高级工培训教材

汽轮机本体检修

上海市电力工业局
教育培

庄肖曾

编著



中国电力出版社

内 容 提 要

本书以八个汽轮机本体检修专题为单元,分成八章:汽轮机找中心、汽轮机转子找平衡、轴的校直、汽轮发电机组的振动、叶片、汽轮机轴承检修、汽缸检修、汽轮机滑销系统检修及汽缸闭合。每章均可单独成为一个检修项目,八章涉及的八个项目是汽轮机本体检修中最关键的内容。本书讲述了检修工艺过程、调整方法、运行中出现的故障及误差产生的原因。同时还讲述了一些具体的检修事例。

本书主要从提高技能培训着手,编写成近似于模块式的教材。

本书可作为高级工培训教材和中专的教材,也可作汽轮机检修技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机本体检修/庄肖曾等编著. —北京:中国电力出版社, 1998. 11

火力发电厂高级工培训教材

ISBN 7-80125-912-2

I. 汽… II. 庄… III. 火电厂-汽轮发电机-检修-技术培训-教材 N. TM311.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 26779 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999 年 1 月第一版 1999 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 32 开本 9.25 印张 203 千字
印数 0001—3250 册 定价 13.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

随着汽轮机技术的飞速进步和对外交流的不断扩大，我国在这方面的技术水平大大地上了一个台阶。目前我国运行中的汽轮机品种繁多，结构、性能各有特点。

上海市电力公司教育培训中心（上海电业职工大学）从90年代初就开始了对高级工的培训工作。多期高级工班都是采用自编讲义，反映十分良好。本书就是在汽轮机本体检修高级工培训讲义的基础上整理修改而成。其中“汽轮机找中心”、“汽轮机转子找平衡”、“轴的校直”、“汽缸检修”、“滑销系统检修及汽缸闭合”等五章由庄肖曾撰写，“汽轮机轴承检修”、“叶片”等两章由高继鸣撰写，“汽轮发电机组的振动”一章由刘卫撰写。刘卫还负责全书的校对和最后定稿。

本书对从事汽轮机本体安装、检修、调试的工人和技术人员有一定的参考价值。本书的出版得到上海电力公司教育处和教育培训中心领导的关心和帮助，在此一并表示感谢。

由于作者的水平和见识有限，本书的篇幅有限，未能完全反映目前在汽轮机本体检修方面的技术成果。许多不尽如人意之处，以及叙述有误之处，恳切希望读者提出批评和改进意见。

编者

1998年8月

目 录

前言

第一章	汽轮机找中心	1
第一节	汽轮机找中心的概念	1
第二节	找中心时的测量	8
第三节	转子按轴封凹窝找中心	15
第四节	隔板及轴封套按转子找中心	17
第五节	隔板(隔板套)中心的调整	20
第六节	联轴器找中心的一般方法	24
第七节	联轴器找中心时轴瓦中心的调整	35
第八节	两转子三轴承的联轴器找中心	38
第九节	联轴器依靠止口受力找中心	42
第二章	汽轮机转子找平衡	48
第一节	刚性转子的平衡原理	48
第二节	转子静平衡	52
第三节	刚性转子的低速动平衡	55
第四节	平衡精度及其选择	71
第三章	轴的校直	76
第一节	轴永久性弯曲的原因	76
第二节	轴弯曲的测量及绘轴的弯曲曲线	78
第三节	轴的检查	81
第四节	直轴方法	82
第五节	应力松弛法直轴实例	95
第四章	汽轮发电机组的振动	116
第一节	概述	116
第二节	振动标准	117

第三节	振动特征、原因分析及其消除措施	119
第四节	振动事故实例及事故分析	129
第五章	叶片	135
第一节	叶片的结构	135
第二节	叶片受力分析	141
第三节	叶片材料	141
第四节	叶片的检修	146
第五节	叶片损坏及其防止措施	158
第六节	叶片振动	163
第七节	叶片振动的安全准则与调频方法	177
第六章	汽轮机轴承检修	186
第一节	滑动轴承的基本工作原理	186
第二节	轴承的油膜振荡	190
第三节	轴承的结构	200
第四节	径向轴承的检修	215
第五节	推力轴承的检修	230
第六节	轴承在运行中的常见问题	233
第七章	汽缸检修	236
第一节	汽缸水平法兰结合面的检查	236
第二节	汽缸结合面产生间隙的原因	238
第三节	汽缸法兰结合面漏汽的处理	240
第四节	汽缸裂纹检查	241
第五节	汽缸裂纹的处理	245
第八章	滑销系统检修及汽缸闭合	257
第一节	汽轮机滑销系统的检修与调整	257
第二节	通流部分间隙的测量与调整	269
第三节	汽缸的闭合	276

第一章 汽轮机找中心

汽轮机运行过程中由于轴承合金的磨损、汽缸及轴承座的位置变动、轴瓦经过研刮等原因，汽轮发电机组的中心将发生变化，检修时应重新找中心。汽轮机的找中心工作非常重要，如果找中心不正确，将对汽轮机安全运行造成极大的危害。汽轮机找中心工作量很大，且要求工作细致，随着汽轮机容量增大，轴承数量增加，找中心工作更为复杂。

第一节 汽轮机找中心的概念

汽轮机找中心的有关术语:

(1) 汽轮机中心线 指各转子联成轴系时, 轴系中心所形成的一条曲线。

(2) 转子中心线 指转子自由地放在轴承上, 在自重作用下弯曲时, 转子几何中心所形成的一条曲线。

(3) 汽缸中心线 指汽缸前后汽封凹窝中心的连线。

(4) 轴承中心线 指轴承座挡油圈及轴套孔凹窝的中心连线。

(5) 转子中心线与汽缸中心线的找中 指转子中心与汽缸中心在汽缸前后汽封凹窝处找正到同心。

汽轮机找中心的主要内容:

(1) 轴承 (座) 与轴承 (座) 找中心。

(2) 汽缸与轴承（座）找中心。

(3) 汽缸内部所有静止部分的找中心，指汽缸某处凹窝中心与此处所装静止件中心重合，其中包括：内、外缸之间找中心、隔板套、隔板找中心。

(4) 高压、中压、低压及发电机转子联成轴系找中心，指轴系中心线成一光滑曲线，并且各轴颈处扬度符合设计要求。

(5) 转子对调速器、主油泵等之间的找正。

对汽轮机找中心的要求：

(1) 运行状态下，转子中心线、静止部分（汽缸、轴承、隔板等）中心线，在纵向都处于同一垂直平面内；

(2) 轴系中心线为一光滑曲线，而轴承座和汽缸应按转子联接方式安置成水平或一定的倾角，并符合转子中心线与汽缸中心线找中的要求；

(3) 汽缸安置中，汽缸的负荷分配应符合设计要求。

一、找中心的目的

找中心是机组安装和大修中的一项重要工作，汽轮机找中心有以下目的：

(1) 转子水平放置时，由于自重，将产生静挠曲，所以机组各转子的中心线的连线应在同一根光滑连续的曲线上；

(2) 机组各转子中心线的连线虽成一根光滑连续曲线，但曲线的形状位置可以不同，这样会造成各轴承上负荷不同。所以我们要求找中心过程中得到的中心线连线所决定的轴承负荷符合设计要求；

(3) 机组找中心后要求动、静部分基本保持同心，其中心偏差在允许范围内，动、静部分的径向间隙调整至规定的范围内；

二、汽轮机找中心的前提

(1) 对汽缸一定要找平、找正

汽缸横向水平偏差不大于 0.02mm ，其纵向水平应根据制造厂设计的转子扬度，调整各轴封凹窝中心的高度。

(2) 轴承座应找平、找正

轴承座的横向水平偏差不大于 0.02mm ，其纵向水平应测量中分面扬度与轴心线扬度吻合。

(3) 台板负荷分配正确

汽缸和轴承座就位并找平找正后，机组的质量应按制造厂提供的数据分配到各块台板上。

(4) 对转子要求

转子相邻两端中心线一致；相邻轴颈的扬度一致；联轴器外圆与轴颈是正圆；联轴器端面与转子轴心线垂直。

轴承座、汽轮机汽缸位置决定于转子扬度。

三、转子扬度的确定

汽轮机和发电机转子由于自重，转子呈自然弯曲状，其弯曲情况已由制造厂给出。汽轮机和发电机转子联成一起后呈一连续光滑曲线，方能保证整个转子平稳运行。这一条光滑曲线可以按轴承的不同位置确定，这就是转子扬度的确定。需要说明的是，制造厂家在制造过程中已确定了各转子的扬度。当转子扬度确定后，汽缸纵向水平随之而定，各轴承负荷、转子受力、轴向力、临界转速也随之确定。汽轮机安装时应按制造厂提供的转子扬度为依据，每次大修应按上次大修记录的转子扬度为依据。但由于厂房基础下沉、金属材料应力释放的变形、轴瓦面的跑合等因素，机组运行一段时间后转子扬度、汽缸扬度会有所改变，但只要机组振动、各轴瓦温度、临界转速等均在规定的范围内，则对扬度可以不作调整。

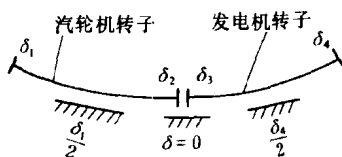


图 1-1 单缸转子的扬度

1. 单缸转子扬度确定

如图 1-1 所示，汽轮机后轴承座与发电机前轴承座都安置成水平状态，即 $\delta_2 = \delta_3 = 0$ ，说明汽轮机转子联轴器与发电机转子联轴器两接触面

平行，并与水平面垂直。汽轮机转子后轴颈与发电机转子前轴颈扬度相等并等于零。汽轮机前轴颈扬度为 δ_1 ，发电机后轴颈扬度为 δ_4 。汽缸的扬度为 $\frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \frac{\delta_1}{2}$ ，发电机定子扬度为 $\frac{\delta_3 + \delta_4}{2} = \frac{\delta_4}{2}$ 。这样做的目的是为了两转子质量的轴向分力可以近似抵消，汽轮机推力轴承仅承受转子由蒸汽作用产生的轴向力。

多缸汽轮机各转子安装时，也尽量使其重力的轴向分力相互抵消。

2. 双缸转子扬度确定

高压转子、低压转子以及发电机转子的位置常采用以下两种方式：

(1) 将低压转子后轴颈及发电机前轴颈置于水平位置，低压转子的前轴颈向前扬起，高压转子也随之扬起；发电机后轴颈向后扬起，如图 1-2 所示。

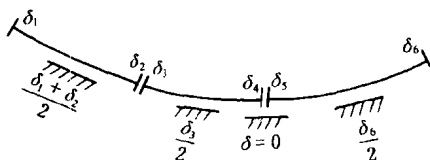


图 1-2 双缸转子扬度(低压转子前轴颈前扬)

$\delta_4 = \delta_5 = 0, \delta_2 = \delta_3$ 。高压缸扬度为 $\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$ ，低压缸扬度为 $\frac{\delta_3 + \delta_4}{2} = \frac{\delta_3}{2}$ ，发电机定子扬度为 $\frac{\delta_5 + \delta_6}{2} = \frac{\delta_6}{2}$ 。

(2) 将汽轮机低压转子置于水平位置，低压缸也为水平位置。此时低压转子前后轴颈标高相等，具有同样扬度，发电机转子和高压转子均按低压转子找扬度、中心，如图 1-3 所示。

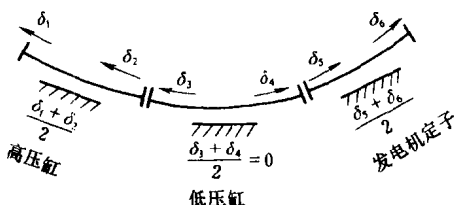


图 1-3 双缸转子扬度
(低压转子水平布置)

使 $\delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5$ ， $\delta_6 > \delta_5$ ， $\delta_1 > \delta_2$ ，

高压缸扬度为 $\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$ ，低压缸扬度为 $\frac{\delta_3 + \delta_4}{2} = 0$ ，发电机定子扬度为 $\frac{\delta_5 + \delta_6}{2}$ 。

上述安置方法在国产 10 万千瓦汽轮机中使用。制造厂规定各轴颈扬度分别为： $\delta_1 = 7.1 \sim 10.3$ 格， $\delta_2 = 3.2 \sim 6.4$ 格， $\delta_3 = 3.2 \sim 6.4$ 格， $\delta_4 = 0 \sim 3.2$ 格。每格均为 0.10mm/m。

3. 三缸转子扬度确定

将低压转子置于水平，即低压缸呈水平状态。这时低压转子前后轴颈处于同一标高，且有同样扬度。发电机转子和高、中压转子均按低压转子找中心，如图 1-4 所示。

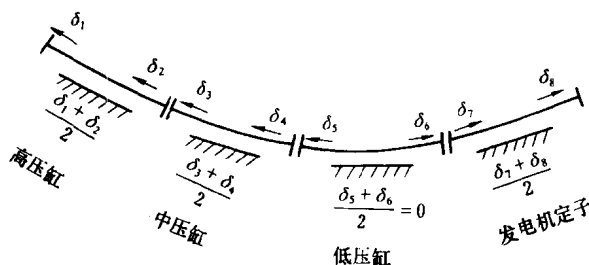


图 1-4 三缸转子的扬度

使 $\delta_4 = \delta_5 = \delta_6 = \delta_7$, 低压缸扬度 $\frac{\delta_5 + \delta_6}{2} = 0$

4. 四缸转子扬度确定

将相邻两低压缸的转子轴颈扬度定为零, 置于水平位置 $\delta_6 = \delta_7 = 0$, 且轴颈标高相等, 如图 1-5 所示。

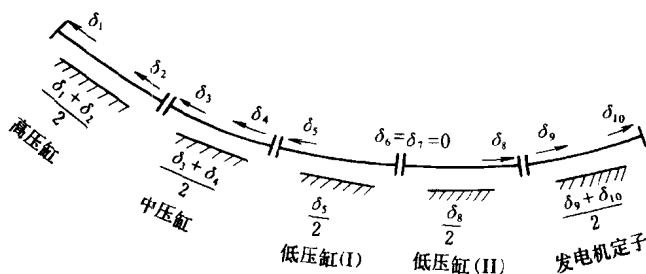


图 1-5 四缸转子的扬度

若低压缸 (I)、低压缸 (II) 结构相同, 则低压转子 (I) 的前轴颈和低压转子 (II) 的后轴颈标高相同, 而且 $\delta_4 = \delta_5 = \delta_8 = \delta_9$, 其余 $\delta_2 = \delta_3$ 。

四、影响动静部分中心变化的因素

为了使运行时转子中心线与静止部分 (汽封、隔板、油

档等)的中心一致,这样才能使动静部分径向间隙均匀,运行中保持较小的径向间隙又不致摩擦。但安装操作、运行状态都会影响转子中心与静子中心的偏差,这些问题在找中心过程中应预先进行考虑。

(一) 安装时影响动静部分中心偏差的原因

运行时汽缸上下合成一整体,而找中心时一般以下缸来找,这会引起中心偏差。

(1) 汽缸合成一整圆后,汽缸刚度增大,静止部分中心抬高;

(2) 上下缸合缸后质量增加,使静止部分中心线成垂弧线。

上面两种因素以上下合缸拧紧螺栓使刚性增加为主要因素,为此要把汽缸相对转子中心线适当放低,这才能在扣上缸并拧紧法兰螺栓后中心正好合适。具体数据应取原始安装记录或实测,因为不同类型机组的数据是不同的。

(二) 运行中影响动静部分中心偏差的因素

1. 汽缸猫爪支承形式对中心线的影响

如汽缸采用下猫爪支承,并且支承面低于水平中分面,由于运行过程中猫爪温度高于轴承座温度,热膨胀后使汽缸中心线抬高,而造成轴封下部径向间隙缩小。由于猫爪膨胀使轴封凹窝抬高的尺寸与猫爪的尺寸、支承方式和猫爪高度 H 有关。

如采用下猫爪支承,而且支承平面比中心线低 200mm,猫爪温度比轴承温度高 100°C ,则轴封凹窝将抬高的值为:

$$\Delta H = H \times \Delta t \times \alpha = 1.2 \times 10^{-5} \times 100 \times 200 = 0.24 \text{ mm}$$

式中 α 为线膨胀系数 ($1.2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

即汽封凹窝中心线将上抬 0.24mm,上部间隙增大

0.24mm，而下部间隙减小 0.24mm。

由此，必须在安装时将汽缸凹窝中心适当放低，以消除汽轮机运行中这一影响，一般中心下移 0.04~0.10mm。

2. 轴瓦油膜厚度抬高转子的影响

在安装时，转子是静止的，轴颈沉于轴瓦底部，轴颈中心在轴瓦中心的正下方，运行中随转速升高，轴瓦内油膜逐渐建立，将轴颈抬起并横向移动。根据油膜理论，如轴颈在轴瓦内顺时针旋转，则轴颈中心将向左移动，对于圆筒形和椭圆形轴瓦，轴颈中心将向左横向移动 0.00~0.05mm，故在转子按轴封凹窝找中心时，应使左侧间隙大于右侧间隙。对于多油楔和可倾瓦轴承，这种因素可以不计。

3. 凝汽器质量的影响

如汽轮机凝汽器与排汽缸接口为刚性连接，凝汽器底部用弹簧支承，由于找中心时，凝汽器内没有水及未建立真空，而运行中由于凝汽器内水的质量和排汽缸内部有真空度，低压缸外面大气压形成向下压力这些原因，使低压缸在运行状态下中心线下移，造成后轴封上部间隙减小。一般中心下移 0.1mm 左右。

4. 运行中汽缸拱背变形的影响

运行中由于上、下缸出现温差，上缸温度高于下缸温度，而引起汽缸拱背变形，使前后轴封下部间隙缩小。

第二节 找中心时的测量

一、汽缸、轴承座水平的测量

1. 汽缸、轴承座横向水平的测量

轴承座横向水平的测量方法是在水平结合面上放一平

尺，再在平尺上放置水平仪来进行测量。测量时，第一次测量取值后，需将平尺及水平仪调整 180° ，进行第二次测量，取两次测量的平均值。调头再测量一次的目的是消除平尺和水平仪本身的不平行度误差。同时要注意，调头测量前后两次的测量位置在同一处。

轴承座横向水平的允许误差为 0.02mm 。

轴承座的纵向水平测量，直接将水平仪放在水平结合面上进行测量，并使其测量结果与转子轴颈扬度一致（具体数据安装时有记录）。

汽缸横向水平的测量方法与轴承座横向水平的测量方法相同。横向水平偏差不得超过 0.02mm 。

2. 汽缸、轴承座纵向水平的测量

汽缸纵向水平应与制造厂提供的转子扬度一致。水平的测量在空缸状态下进行。水平仪应放在汽轮机安装时用洋冲作出的标记处，以便对各次测量进行对比。测量点的洋冲眼一般均在刚性较大且不易变形的汽封凹窝和猫爪中分面处附近。

在研刮汽缸及轴承座结合面时，应在研刮前和研刮后分别作水平测量工作，以求得在规定测量点上水平值的改变量。

对大型机组目前均采用纵向布置，所以通常新安装机组都是靠锅炉房一侧偏高。这主要是考虑锅炉房基础负重大，一旦有所下沉，其下沉量就大。

二、转子的测量

转子的测量项目包括：轴颈的锥度，各部位的晃度，联轴器、推力盘和叶轮的瓢偏度，轴的弯曲度，轴颈的扬度等测量。轴弯曲的测量在直轴专题中介绍。轴颈锥度的测量，在

转子吊入汽缸前进行完毕，其它项目的测量工作，则在转子就位时进行。

(1) 轴颈锥度的测定

由于制造误差，轴颈上有可能出现锥度，在沿整个轴颈长度上直径的差值不超过 0.03mm。轴颈锥度的测量在安装时进行，一般在检修中不进行此项工作，而且轴颈锥度一般不会超差。如发现轴颈锥度超差，则应对轴颈研磨。

(2) 转子晃度的测量

晃度是转子回转一周时各被测部位在圆周上的不圆程度（参看图 1-6）。其测量方法是：以一只危急保安器飞锤（环）飞出方向为起点，将被测部位的圆周分成六等分或八等分，转子旋转时用百分表测量各等分点处的数值。

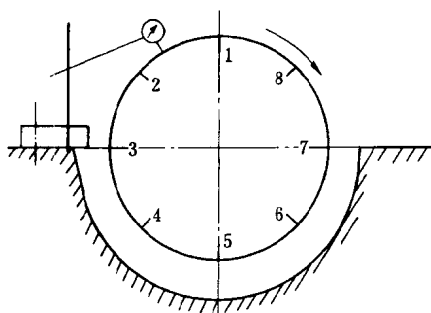


图 1-6 转子晃度的测量

旋转一周，应使百分表读数值回复到原来位置，表明百分表的安置符合要求。如果百分表的读数前后不一，则应检查其原因，消除后才能测量。测量时缓慢转动转子，每转过一等分，记录一次百分表读数。转动一周后将记录下各分点的全部数值，然后以对应 180° 的最大数值减最小数值，即为被测零件该部位的晃度。轴颈部位的晃度值最大不许超过

0.02mm。轴颈部位晃度大将引起轴承和机组振动，加速轴承合金的磨损。转子上各部位的晃动值由制造厂提供。

检修过程中测转子上的晃度，必须在制造厂规定的部位上测取，以便与出厂、安装时的记录作对比。

(3) 瓢偏度的测量

转子上的叶轮、推力盘、联轴器等端面应与转子轴心线相垂直，若不垂直，则机组运行时，叶轮与隔板会发生磨损、推力瓦与推力盘接触不均匀使推力瓦瓦温、回油温度升高。检查上述各端面与轴心线不垂直情况，即检查该回转面的瓢偏度。

转子需要测量瓢偏的位置有推力盘的工作面及非工作面、叶轮进出汽边的轮缘、联轴器的接触结合面、主油泵轮缘两侧等部位。

测量方法如下：

以危急保安器飞锤飞出方向为起点，将被测件外圆分成八等分。在水平结合面上相隔 180° 各装一只百分表，百分表跳杆与被测面垂直，而且两表跳杆触点位置在同一圆周上，如图 1-7 所示。

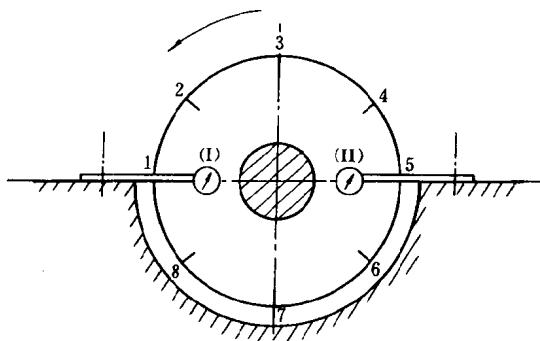


图 1-7 转子瓢偏度的测量